

# TENDENCIAS DE LA INSOLACIÓN ESTIVAL EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y SUS POSIBLES CONEXIONES TROPICALES

Arturo SÁNCHEZ-LORENZO<sup>1</sup>, Javier MARTÍN-VIDE<sup>1</sup>, Josep CALBÓ<sup>2</sup>, Michele  
BRUNETTI<sup>3</sup>, Xavier QUEROL<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grup de Climatologia, Universitat de Barcelona

<sup>2</sup> Grup de Física Ambiental, Dept. de Física i Institut de Medi Ambient, Universitat de Girona

<sup>3</sup> Institute of Atmospheric Sciences and Climate, Bologna

<sup>4</sup> Institut 'Jaume Almera', CSIC, Barcelona

asanchezlorenzo@ub.edu

## RESUMEN

El presente trabajo describe la evolución temporal y las tendencias de la insolación estival (julio y agosto) en la Península Ibérica (PI) durante el periodo 1961-2004. La serie media conjunta muestra un claro descenso desde los años 60 hasta los 80, con un mínimo muy marcado entre 1982 y 1984. Luego la serie muestra un ligero aumento, que, al no compensar el descenso anterior, produce una reducción significativa del -1.3% por década para todo el periodo estudiado. Se han analizado los principales patrones de circulación en un dominio comprendido entre los paralelos 0° y 70°N, y entre los meridianos 40°W y 40°E, complementado con una clasificación diaria de los patrones sinópticos en un subdominio interior. Finalmente, se ha estudiado la posible conexión de la insolación en la PI con la dinámica y precipitación tropical a partir de análisis de correlaciones con el Sahel Index, así como con mapas de composición de los campos de presión en superficie y en altura durante los años pluviométricos extremos en la citada región. Los resultados obtenidos muestran una posible relación entre las tendencias recientes de la insolación estival de la PI y cambios en la circulación atmosférica.

**Palabras clave:** Insolación estival, Península Ibérica, Patrones sinópticos, Sahel Index.

## ABSTRACT

This work describes the summer (July and August) time evolution and trends of sunshine duration (SunDu) over the Iberian Peninsula covering the 1961-2004 period. The mean series for the whole Iberian Peninsula shows a decrease in SunDu from the 1960s to the early 1980s, followed by a slightly increase up to the end of the 20<sup>th</sup> century. The linear trend highlights a dominant decrease in SunDu, with a negative and significant trend of about -1.3% per decade. General circulation patterns are calculated in a selected window between 40°W-40°E longitude and 0°-70°N, complemented with a daily synoptic classification in a sub-domain. Finally, we studied the relationship between SunDu and Sahel rainfall variability, measured by the Sahel Index, by means of correlations and composites analyses for the extreme positive and negative phases in the Sahel Index. The results suggest a possible relationship between the detected SunDu trends and changes in the tropical atmospheric circulation.

**Key words:** Circulation patterns, Iberian Peninsula, Sahel index, Summer sunshine duration.

## 1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la variabilidad y tendencias de la radiación solar es fundamental por las importantes consecuencias físicas y biológicas que entraña, además de ser la variable crucial en los balances radiativos y energéticos desde una escala planetaria a las microclimáticas. Igualmente, el análisis de la radiación solar que llega a la superficie terrestre es de vital importancia en el contexto del actual cambio climático, pues, aparte de la nubosidad, los cambios de la radiación solar incidente en superficie podrían ser el resultado de perturbaciones antrópicas derivadas de variaciones en las concentraciones de aerosoles (RAMANATHAN *et al.*, 2001).

Se ha documentado una reducción generalizada de la radiación solar incidente entre los años 1950s y 1980s, estimándose en una disminución de  $0.51 \pm 0.05 \text{ Wm}^{-2}$  por año a nivel global, fenómeno denominado *global dimming* (STANHILL y COHEN, 2001). La evolución general descendente detectada se ha invertido en los últimos años, especialmente en las latitudes medias, y en la actualidad se observa una tendencia positiva, en lo que se ha denominado *global brightening* (WILD *et al.*, 2005). Aunque estos fenómenos no están completamente explicados, buena parte de la comunidad científica los relaciona con cambios en la transmisividad de la atmósfera terrestre como consecuencia de variaciones en las concentraciones de aerosoles de origen antropogénico. Aun así, son numerosas las críticas que ponen en duda su carácter global (ALPERT y KISHCHA, 2008) o los asocian a otras causas (TRENBERTH *et al.*, 2007).

En Europa se ha evidenciado, a partir de series de radiación solar (WILD *et al.*, 2005; NORRIS y WILD, 2007), y recientemente de series de insolación, que para los sectores más occidentales el *dimming* y *brightening* sólo se identifican claramente durante la estación primaveral (SANCHEZ-LORENZO *et al.*, 2008). En la Península Ibérica (PI), y a diferencia del resto de Europa Occidental, también se ha constatado un brusco periodo de *dimming* en la estación estival, concentrado en los meses de julio y agosto (SANCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007).

Así, el presente trabajo muestra las tendencias de la insolación estival (julio y agosto) en la PI durante el período 1961-2004, haciendo especial hincapié en los cambios en la circulación atmosférica durante el periodo analizado, y relacionando dichos cambios con la variabilidad pluviométrica en el área del Sahel.

## 2. DATOS

La base de datos de insolación consta, para la PI, de 72 series de insolación (Fig. 1) a la cual se han aplicado diferentes controles de calidad a resolución diaria, siguiendo las recomendaciones de AGUILAR *et al.* (2003), y el test de homogeneidad de Craddock. En SANCHEZ-LORENZO *et al.* (2007) se detalla el proceso seguido, los *breaks* detectados, y las correcciones efectuadas en las series. En el presente trabajo se han utilizado las series estivales (promedio de julio y agosto) obtenidas a partir de una malla de  $1^\circ \times 1^\circ$  de resolución espacial (Fig. 1) y obtenida con una técnica de interpolación igualmente descrita en SANCHEZ-LORENZO *et al.* (2007). Se han calculado, considerando todos los puntos disponibles de la malla, la serie conjuntas para la PI, así como de 4 regiones (Fig. 1) definidas a partir de un análisis en componentes principales (ACP), igualmente detallado en SANCHEZ-LORENZO *et al.* (2007). A las series, expresadas como ratios (%) entre los valores mensuales y la correspondiente

media climática del periodo 1971-2000, se les ha aplicado un filtro gaussiano de paso bajo de 11 términos (con una sigma de 3 años) para una mejor visualización de la variabilidad interdecadal.

Los datos de presión atmosférica sobre el nivel del mar (SLP) y en altura (850 y 700hPa) se han extraído de los reanálisis NCEP-NCAR (KALNAY *et al.*, 1996), que poseen una resolución de  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  de latitud y longitud. Para el cálculo de los patrones generales de circulación se ha seleccionado un dominio comprendido entre los paralelos  $0^\circ$  y  $70^\circ\text{N}$ , y entre los meridianos  $40^\circ\text{W}$  y  $40^\circ\text{E}$  (957 puntos de malla). En cambio, para la clasificación sinóptica diaria se ha optado por una ventana interior comprendida entre los paralelos  $20^\circ$  y  $45^\circ\text{N}$ , y entre los meridianos  $20^\circ\text{W}$  y  $15^\circ\text{E}$  (165 puntos de malla).

El Sahel Index empleado se ha obtenido del *Join Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean* (JISAO, Washington), y está calculado como anomalías de precipitación (mm), respecto al periodo 1950-1979, para los meses comprendidos entre junio y agosto, en el dominio  $10^\circ\text{N}$ - $20^\circ\text{N}$  y  $20^\circ\text{W}$ - $10^\circ\text{E}$ .

Se ha usado el test no paramétrico de Mann-Kendall para evaluar la significación ( $\geq 95\%$ ) de todas las tendencias lineales calculadas en el presente trabajo.

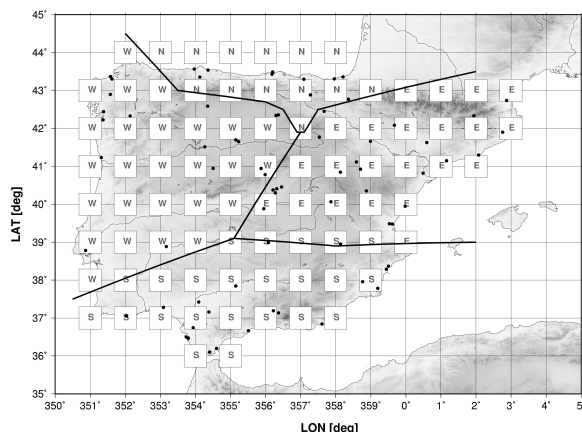


Fig. 1: Distribución espacial de las 72 series de insolación (puntos) y de las celdas de malla con indicación de la región asignada a partir del ACP (SANCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3. 1. Insolación estival en la Península Ibérica

La Fig. 2 muestra la evolución temporal de la serie conjunta de insolación en la PI, para el periodo 1961-2004. La serie muestra un claro descenso desde los años 60 hasta los 80, con un mínimo muy marcado entre los años 1982 y 1984. A continuación la serie presenta un ligero aumento, aunque sin compensar el descenso anterior, lo que conlleva una reducción significativa del -1.3% por década para todo el periodo analizado. Las series de las regiones S y W muestran, igualmente, tendencias negativas significativas, de -1.4% y -2.1%, respectivamente, y con una evolución semejante a la de la PI. En todas las series regionales,

aunque con mayor magnitud en las regiones N y W, se observa un claro mínimo centrado entre los años 1982 y 1984, hecho que puede estar relacionado con la erupción de El Chichón en abril de 1982 y/o con el intenso El Niño de los años 1982 y 1983 (MARIOTTI et al., 2002).

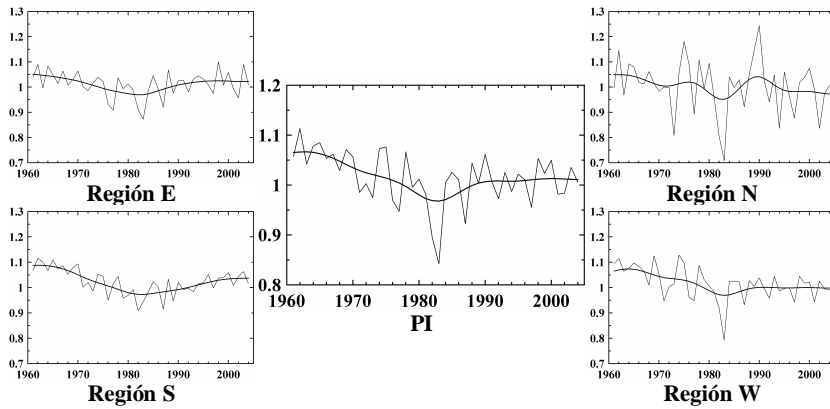


Fig. 2: Evolución de la insolación estival en la PI y las regiones en el periodo 1961-2004, a la que se ha añadido un filtro de paso bajo.

### 3. 2. Cambios en los patrones estivales de circulación

En este apartado se relacionan las tendencias en la insolación estival de la PI con los cambios en los patrones generales de circulación atmosférica y con los patrones sinópticos diarios.

Así, en primer lugar se han calculado los principales patrones generales de circulación atmosférica a partir de los promedios estivales (julio y agosto) de la los datos de SLP y geopotencial a 850 y 700 hPa extraídos de los reanálisis NCEP-NCAR para el dominio comprendido entre los paralelos 0° y 70°N, y entre los meridianos 40°W y 40°E, en el periodo 1961-2004. Para ello se ha aplicado para cada una de las 3 variables, y siguiendo las recomendaciones de HUTH (2006), un ACP en S-Mode (usando la matriz de correlaciones) y aplicando una rotación VARIMAX a los componentes (o *Empirical Orthogonal Functions*, EOF) seleccionados mediante el gráfico de sedimentación. En las 3 variables consideradas se han retenidos 8 componentes, que explican en cada caso cerca del 90% de la varianza total. Las tendencias de los diferentes patrones detectados se han evaluado a partir de las series de puntuaciones (*scores*) obtenidas en cada componente.

El primer componente de la SLP (Fig. 3a), que explica 24.5% de la variabilidad, está caracterizado por una fase positiva donde se dan anomalías positivas de la presión en África central, con ligeras anomalías negativas al oeste de la PI. La serie temporal del patrón (Fig. 3b) muestra una tendencia positiva y significativa durante el periodo analizado, como consecuencia de un brusco aumento desde los años 60 a los 80. Existe una correlación negativa y fuertemente significativa ( $r = -0.52$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ) entre dicho patrón y la serie conjunta de la insolación en la PI, también significativa en las regiones S ( $r = -0.63$ ) y W ( $r = -0.57$ ), y, aunque algo inferior, en la región E ( $r = -0.34$ ,  $\alpha \leq 0.05$ ).

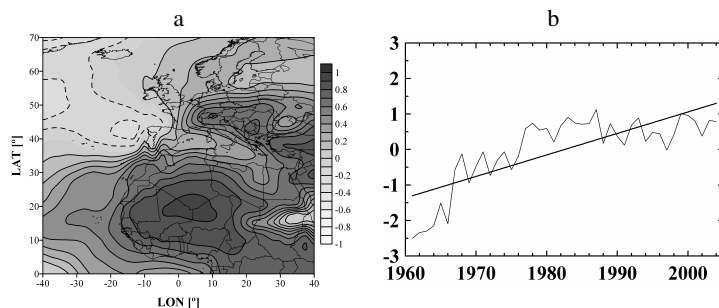


Fig. 3: (a) Distribución espacial de las cargas factoriales del primer componentes rotado de la SLP. (b) Evolución temporal de las puntuaciones obtenidas en el primer componente. La línea fina indica el valor de cada año, y la gruesa la regresión lineal.

Los resultados obtenidos con los geopotenciales a 850 hPa y 700 hPa son similares entre ellos y con la SLP. Así, el primer componente del geopotencial a 700 hPa está igualmente caracterizado, durante su fase positiva, por altas presiones en África central (Fig. 4a), aunque en este caso explicando más del 42.8% de la varianza total. Al igual que en superficie, la serie temporal del patrón (Fig. 4b) muestra una tendencia positiva y significativa durante el periodo analizado, derivado de un brusco aumento desde los años 60 a los 80 con una posterior estabilización. Igualmente, existe una correlación negativa y fuertemente significativa ( $r = -0.64$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ) entre la evolución de dicho patrón y la serie conjunta de la PI, mostrando todas las regiones correlaciones significativas al 95%, aunque de nuevo con los más elevados valores en las regiones S ( $r = -0.68$ ) y W ( $r = -0.63$ ).

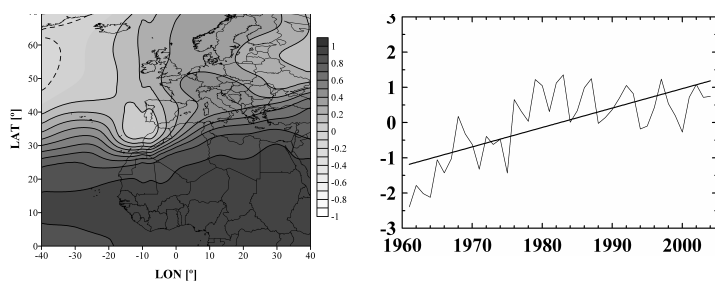


Fig. 4: Ídem que Fig. 3, pero para el primer componente rotado del geopotencial en 700 hPa.

A continuación se ha realizado una clasificación sinóptica diaria de todos los días de julio y agosto del periodo 1961-2004 (2.728 días), aunque limitada a una ventana comprendida entre los paralelos 20° y 45°N, y entre los meridianos 20°W y 15°E. Se ha seleccionado dicha ventana al comprobar que al aumentar el dominio hacia el norte existían dificultades de capturar correctamente los patrones sinópticos que afectan a la PI (por la elevada variabilidad mostrada por los sectores septentrionales de Europa). Para realizar la clasificación se ha optado

por utilizar los tres niveles atmosféricos considerados, y se ha seguido la metodología descrita en ROMERO *et al.* (1999). Dicho método combina un ACP, individual de cada nivel considerado, en T-Mode a resolución diaria, con un posterior análisis *Cluster* (con método de *k-means*) de todas las puntuaciones obtenidas en los diferentes componentes de cada nivel. Para la selección del número de conglomerados considerados se ha evaluado el dendrograma obtenido con el método jerárquico de Ward. En el presente trabajo se han retenido 5, 7, y 6 componentes de SLP, 850 hPa y 700 hPa en el ACP, respectivamente, y se han seleccionado 12 clusters como solución final. Se han calculado las series temporales con las frecuencias absolutas de cada clúster en el periodo 1961-2004, y a continuación se han correlacionado con las series de insolación para el conjunto de la PI.

Los resultados muestran que 4 de los patrones obtenidos están negativa y significativamente ( $\alpha \leq 0.05$ ) correlacionados con la serie de insolación de la PI. En concreto, dichos patrones son los clusters 1, 5, 6 y 12, con coeficientes de correlación de -0.64, -0.59, -0.38 y -0.38, respectivamente. Dichos patrones (Fig. 5) muestran configuraciones sinópticas con bajas relativas centradas al sur (Cluster 1), norte (Cluster 5) u oeste (Cluster 6) de la PI. El Cluster 12 muestra un seno en 700 hPa que no tiene un claro reflejo en superficie. Otros 4 patrones de los 12 obtenidos están positiva y significativamente ( $\alpha \leq 0.05$ ) correlacionados con la serie de la PI. Esos patrones son los clusters 2, 4, 7 y 8, con coeficientes de correlación de 0.32, 0.52, 0.50 y 0.47, respectivamente. Dichos patrones (Fig. 6) muestran claras configuraciones sinópticas dominadas por anomalías positivas de presión en superficie y altura.

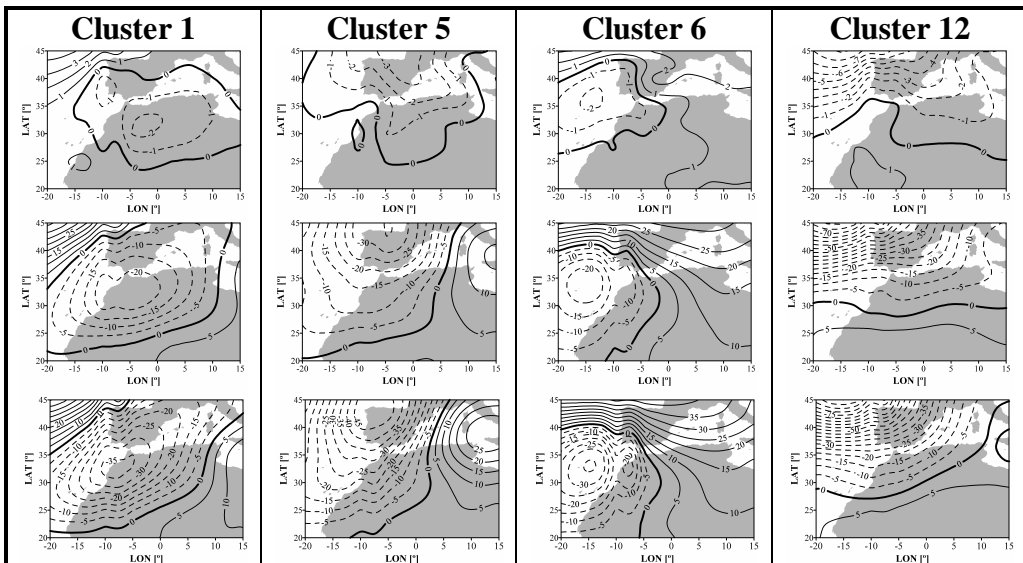


Fig. 5: Patrones negativa y significativamente correlacionados con la serie conjunta de la insolación en la PI. Los mapas muestran diferencias entre las medias de cada uno de los patrones y la media para todo el periodo 1961-2004 en SLP (fila superior), y altura geopotencial en 850 hPa (fila media) y 700 hPa (fila inferior), con isolíneas continuas y discontinuas para las anomalías positivas y negativas, respectivamente.

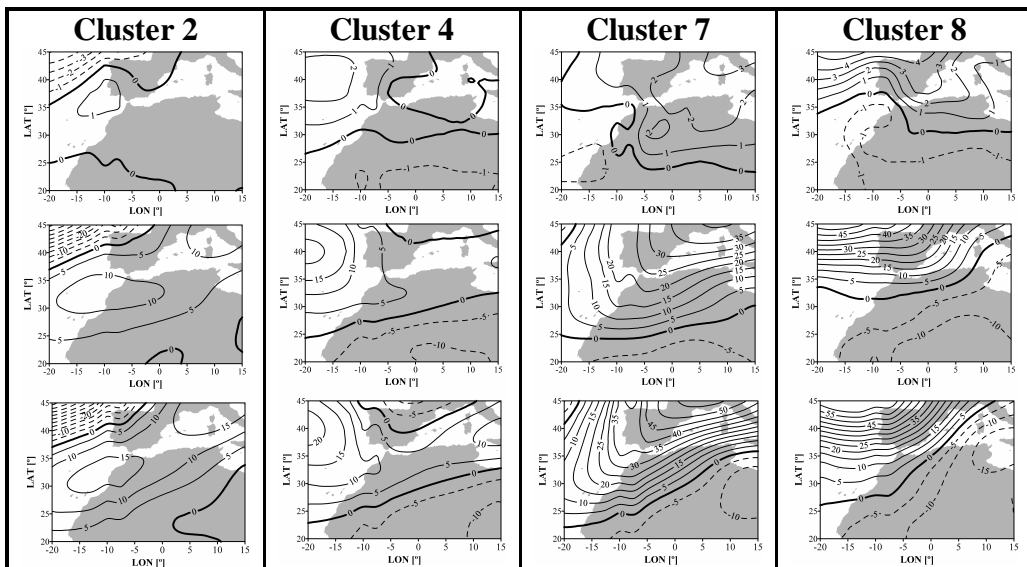


Fig. 6: Ídem que Fig. 5, pero con los patrones positiva y significativamente correlacionados.

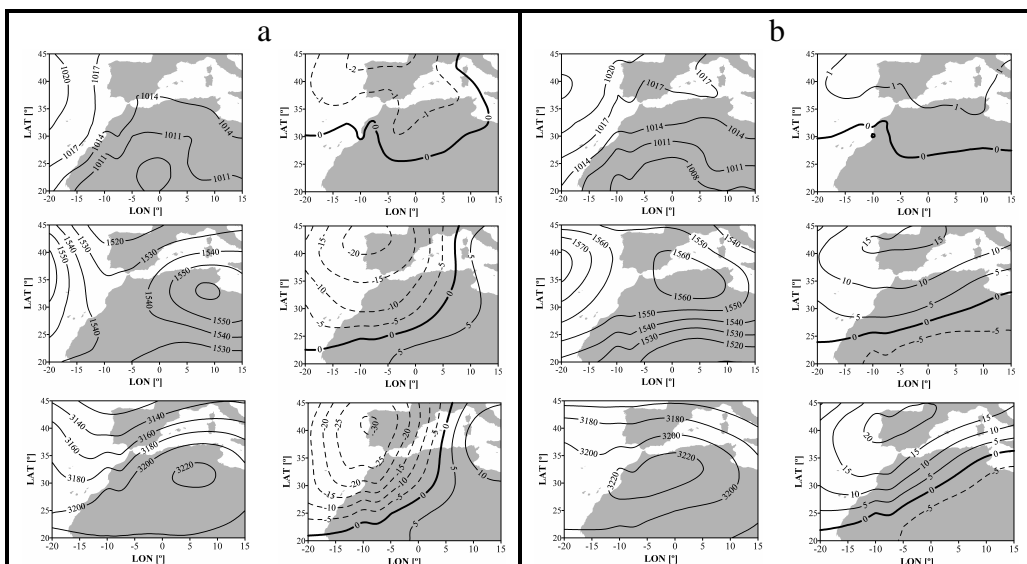


Fig. 7: Mapas medios (izquierda) y de diferencias respecto a la media del periodo 1961-2004 (derecha) de los todos los días agrupados en patrones correlacionados negativa (a) y positivamente (b) con la serie de insolación conjunta de la PI, en SLP (panel superior), y altura geopotencial en 850 hPa (panel medio) y 700 hPa (panel inferior).

Se han agrupado todos los días de los patrones con correlaciones negativas y positivas significativas. Los mapas medios y de diferencias (Fig. 7a) para los primeros reflejan presiones y geopotenciales inferiores a los normales del período, con flujos del suroeste en 700 hPa, que podrían asociarse a una mayor inestabilidad atmosférica favoreciendo un aumento de la nubosidad, especialmente la de carácter convectivo. Igualmente, esa configuración media podría asociarse a intrusiones de polvo sahariano, especialmente en el centro-sur y este de la PI (RODRÍGUEZ *et al.*, 2001; ESCUDERO *et al.*, 2005). En cambio, la agrupación de patrones con correlaciones positivas y significativas (Fig. 7b) muestra situaciones anticiclónicas, con diferencias que indican un reforzamiento de las altas presiones. Especialmente en altura se observa un potente anticiclón, centrado al sureste (850 hPa) o sur (700 hPa) de la PI, que claramente podría vincularse con asoleadas jornadas.

La evolución temporal conjunta de los patrones con correlaciones negativas (Fig. 8a) muestra una mayor correlación ( $r = -0.85$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ) con la serie de insolación en la PI, comparada con las correlaciones de los 4 clusters que componen este grupo. Asimismo, muestra una clara tendencia, significativa, ascendente (+2.6 días por década), con un aumento especialmente remarcable desde la década de los 60 hasta mediados de los 80. Similarmente, la serie conjunta de los patrones con correlaciones positivas (Fig. 8b) tiene una alta correlación ( $r = 0.73$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ) con la serie de insolación de la PI, una tendencia negativa significativa (-4.4 días por década), y un remarcable descenso entre los años 60 y 80.

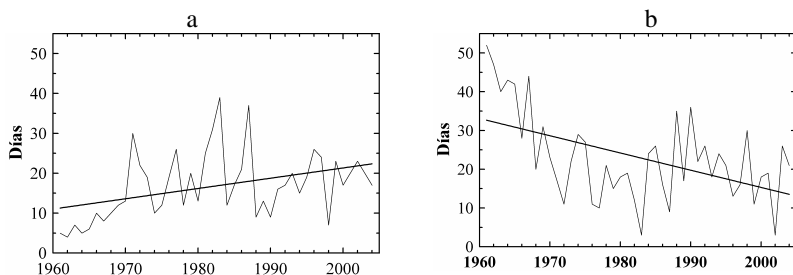


Fig. 8: Evolución temporal de todos los días pertenecientes a patrones con correlaciones negativas (a) y positivas (b) durante el periodo 1961-2004. La línea fina indica el valor de cada año y la gruesa, la regresión lineal.

En concordancia con los resultados obtenidos con los patrones de circulación general, la serie que agrupa a los patrones sinópticos con correlaciones negativas en la insolación de la PI, tienen correlaciones significativas ( $r \sim 0.60$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ) con los primeros componentes de SLP y geopotencial en 700 hPa. Igualmente, la serie agrupada con los patrones sinópticos con correlaciones positivas con la insolación en la PI poseen correlaciones significativas con signo contrario ( $r \sim -0.70$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ).

### 3. 3. Posible conexión con la variabilidad pluviométrica interanual en el Sahel

Finalmente, se ha estudiado la posible conexión de la insolación en la PI con la dinámica y la precipitación tropical a partir de análisis de correlaciones con el Sahel Index, así como con



mapas de composición de los campos de presión en superficie y en altura durante los años pluviométricos extremos en la citada región.

La correlación entre el Sahel Index (estandarizado) y la insolación anual para el conjunto de la PI es positiva y significativa ( $r = 0.60$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ), apreciándose visualmente una buena correspondencia entre ambas series (Fig. 9). Igualmente, existen correlaciones positivas y significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) con las series de las regiones E, S y W.

A partir de la serie del Sahel Index, se han seleccionado los años extremos negativos (Sahel Index  $\leq -1$ , o secos) y positivos (Sahel Index  $\geq +1$ , o húmedos), y se han construido los mapas medios de presión en superficie y de geopotencial en 700 hPa, así como el de las diferencias entre ambos (Fig. 10). Los resultados reflejan que los años secos (húmedos) en el Sahel comportan, especialmente en altura y analizando los mapas de diferencias, significativas bajas (altas) presiones relativas al oeste de la PI durante el periodo estival.

Estas diferencias se asemejan a las configuraciones observadas con las diferentes fases del primer componente de la SLP (Fig. 3a) y de 700 hPa (Fig. 4a), ambos correlacionados significativamente con el Sahel Index ( $r \sim -0.50$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ). Igualmente, existe correlación entre el Sahel Index y la frecuencia de aparición de los patrones sinópticos (Fig. 8) con correlaciones negativas ( $r = -0.56$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ) o positivas ( $r = +0.62$ ,  $\alpha \leq 0.01$ ) con la insolación en la PI.

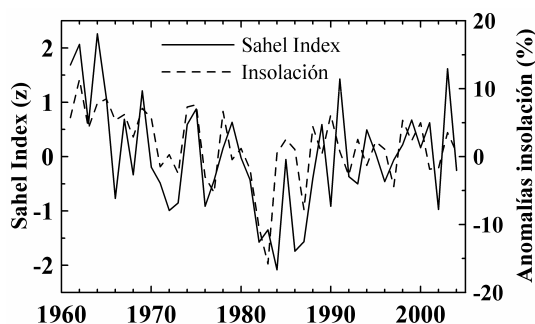


Fig. 9: Evolución temporal del Sahel Index (JJA) estandarizado (línea continua) y de la serie conjunta de la insolación en la PI (línea discontinua) en el periodo 1961-2004.

#### 4. CONCLUSIONES

La insolación estival (julio y agosto) de la PI ha descendido durante el periodo 1961-2004 con una tendencia de  $-1.3\%$  por década. La evolución temporal muestra un claro descenso desde los años 60 hasta los 80, con un mínimo muy marcado entre 1982 y 1984, y un ligero aumento posterior que no llega a compensar el citado descenso. Se ha detectado que regionalmente existen diferencias, presentando las áreas del sur y oeste peninsular un comportamiento semejante al conjunto de la PI.

El primer patrón de circulación extraído de las series medias estacionales de SLP y 700 hPa en el dominio analizado se corresponde con un centro de acción situado en África Central. Durante las fases positivas del patrón, con una mayor estabilidad atmosférica y menor

pluviometría en el área del Sahel, se registran presiones y geopotenciales inferiores a la media centrados en la PI, o en sus inmediaciones, que podrían comportar una mayor inestabilidad atmosférica y/o una mayor frecuencia de intrusiones saharianas, con la consiguiente reducción de la radiación solar incidente sobre el territorio peninsular. El Sahel Index y la insolación anual en el conjunto de la PI presentan una correlación significativa de 0.60.

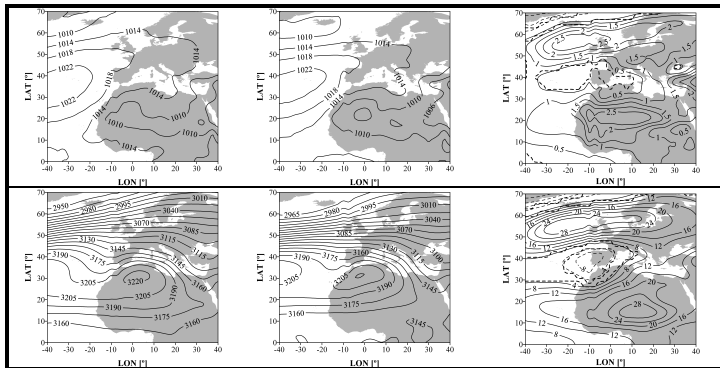


Fig. 10: Anomalías en la SLP (fila superior) y geopotencial a 700 hPa (fila inferior) durante las fases extremas negativas (izquierda) y positivas (central) del Sahel Index, y las diferencias entre ambas (derecha). Las líneas discontinuas gruesas delimitan áreas con diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) según un *t-test*.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación otorgada por el Ministerio de Educación y Ciencia mediante los proyectos NUCIER (CGL 2004-02325) y NUCIEREX (CGL 2007-62664), y la beca FPU de que disfruta el primer autor.

### 5. REFERENCIAS

- AGUILAR, E.; AUER, M.; BRUNET, M.; PETERSON, T.C. y WIERINGA, J. (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization*. WMO-TD No. 1186, World Meteorol. Org., Geneva, 52 pp.
- ALPERT, P. y KISHCHA, P. (2008). "Quantification of the effect of urbanization on solar dimming". *Geophys. Res. Lett.*, 35, L08801, doi:10.1029/2007GL033012.
- ESCUDERO, M.; *et al.* (2005). "Wet and dry African dust episodes over eastern Spain". *J. Geophys. Res.*, 110, D18S08, doi:10.1029/2004JD004731.
- HUTH, R. (2006). "The effect of various methodological options on the detection of leading modes of sea level pressure variability". *Tellus*, 58A, 121-130.
- KALNAY, E.; *et al.* (1996). "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project". *Bull. Amer. Met.Soc.*, 77, 437-471.
- MARIOTTI, A.; ZENG, N. y LAU, K.-M. (2002). "Euro-Mediterranean rainfall and ENSO-A seasonally varying relationship". *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1621, doi:10.1029/2001GL014248.

- NORRIS, J.R. y WILD, M. (2007). "Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar "dimming," and solar "brightening". *J. Geophys. Res.*, 112, D08214, doi:10.1029/2006JD007794.
- RAMANATHAN, V.; CRUTZEN, P.J.; KIEHL, J.T. y ROSENFELD, D. (2001). "Aerosols, climate, and the hydrological cycle". *Science*, 294, 2119-2124.
- RODRÍGUEZ, S.; QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; KALLOS, G. y KAKALIAGOU, O. (2001). "Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain". *Atm. Env.*, 35, 2433-2447.
- ROMERO, R.; SUMMER, G.; RAMIS, C. y GENOVÉS, A. (1999). "A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area". *Int. J. Climatol.*, 19, 765-785.
- SANCHEZ-LORENZO, A.; BRUNETTI, M.; CALBÓ, J. y MARTIN-VIDE J. (2007). "Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized dataset". *J. Geophys. Res.*, 112, D20115, doi: 10.1029/2007JD008677.
- SANCHEZ-LORENZO, A.; CALBÓ, J. y MARTIN-VIDE, J. (2008). "Spatial and temporal trends in sunshine duration over Western Europe (1938-2004)". *J. Clim.*, en prensa
- STANHILL, G. y COHEN, S. (2001). "Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences". *Agric. For. Meteorol.*, 107, 255-278.
- TRENBERTH, K.E.; *et al.* (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. En: SOLOMON, S., *et al.* (Eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y Nueva York, USA, 102 pp.
- WILD, M.; *et al.* (2005). "From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface". *Science*, 308, 847-850.